

**A systems design approach to sustainable development  
Embracing the Complexity of Energy Challenges in Low-income Markets**

Costa Junior, Jairo da; Diehl, Jan-Carel; Snelders, Dirk; Secomandi, F

**Publication date**

2020

**Document Version**

Accepted author manuscript

**Published in**

Mix Sustentavel

**Citation (APA)**

Costa Junior, J. D., Diehl, J.-C., Snelders, D., & Secomandi, F. (2020). A systems design approach to sustainable development: Embracing the Complexity of Energy Challenges in Low-income Markets. *Mix Sustentavel*, 6(1), 175-180.

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).  
Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.  
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# A SYSTEMS DESIGN APPROACH TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT: EMBRACING THE COMPLEXITY OF ENERGY CHALLENGES IN LOW-INCOME MARKETS

**JAIRO DA COSTA JUNIOR, Dr.** | TU DELFT

**JAN CAREL DIEHL, Dr.** | TU DELFT

**DIRK SNELDERS, Dr.** | TU DELFT

**FERNANDO SECOMANDI, Dr.** | UERJ

## 1. INTRODUÇÃO

Os problemas enfrentados em mercados de baixa renda são cada vez mais percebidos como complexos devido às preocupações ambientais, sociais e econômicas envolvidas. Os enormes impactos negativos e a dificuldade dos designers de lidar com a complexidade desses problemas não podem ser superados sem uma mudança de paradigma na maneira como entendemos, abordamos e ensinamos sobre essas questões. No processo de enfrentar esse desafio, podemos nos fazer a seguinte pergunta: “Qual é a melhor abordagem para lidar com um problema social complexo?” Tradicionalmente, uma abordagem para lidar com um problema complexo é simplificá-lo. Em contrapartida, a presente tese visa oferecer uma nova abordagem para lidar com problemas sociais complexos: abraçar a complexidade. Esta pesquisa defende que abraçar a complexidade representa uma mudança significativa de uma abordagem tradicional do design para uma abordagem do design sistêmico em direção ao desenvolvimento sustentável.

Esta tese se concentra em teorias e práticas que são centrais e relevantes para o debate sobre sustentabilidade e pensamento sistêmico no design. O objetivo é avançar o entendimento dos designers sobre questões de sustentabilidade em mercados de baixa renda, como por exemplo desafios de energia sustentável em economias emergentes, para contribuir, por meio do design, para resolver problemas sociais complexos. Por esse motivo, esta investigação se concentra no setor elétrico de mercados de baixa renda, que são particularmente notáveis em economias emergentes da América Latina e África. De um modo geral, consumidores no setor elétrico de mercados de baixa renda não têm acesso a fontes de energia economicamente acessíveis, confiáveis, limpas e modernas, o que resulta, entre outras questões, em poluição, problemas de saúde e altos custos de eletricidade.

Buscar soluções para o setor elétrico de mercados de baixa renda representa uma oportunidade favorável de satisfazer a demanda por energia elétrica em economias emergentes de forma alinhada às metas do desenvolvimento sustentável. No entanto, designers têm, muitas vezes, dificuldade em auxiliar comunidades de baixa renda a melhorar seus padrões de vida, por meio de soluções sustentáveis de energia. Existe consenso de que, sem acesso a produtos e serviços de energia sustentável, não é possível criar sistemas de energia sustentáveis, e consequentemente, não se pode alcançar o desenvolvimento sustentável. Por outro lado, problemas sociais complexos enfrentados no setor elétrico de mercados de baixa renda estão longe de serem óbvios, de forma que as soluções atuais para esses problemas estão longe de serem ideais. Esses problemas geralmente são muito difíceis de solucionar devido a informações limitadas sobre a situação em questão e falta de conhecimento específico do contexto local. No entanto, são demandas que afetam a vida cotidiana da população de baixa renda e que, portanto, merecem atenção urgente.

Embora problemas complexos envolvam altos níveis de complexidade técnica, o termo problemas sociais complexos adotado nesta tese refere-se a problemas complexos em que a complexidade técnica está entrelaçada com a complexidade social e as relações entre humanos e instituições são centrais para a solução do problema. Além disso, o conceito de complexidade adotado nesse trabalho também se refere à falta de conhecimento das características do sistema em vigor, à falta de compreensão do problema em questão e à falta ou incerteza do conhecimento necessária para lidar com o problema. Esta investigação sugere que a integração do pensamento sistêmico e o campo do design é uma abordagem promissora para enfrentar a crescente complexidade dos problemas sociais. A pergunta de pesquisa central propõe obter insights sobre abordagens orientadas ao design

de sistemas (também denominadas nesta tese como Design Sistêmico). Em particular, esse trabalho concentra-se em abordagens e metodologias de sistemas para desenvolver sistemas produto-serviço para problemas sociais complexos, como os encontrados no setor elétrico de mercados de baixa renda em países como Brasil e Uganda.

Sistema Produto-Serviço (PSS) consiste em um sistema de produtos, serviços, cadeia produtiva e infraestrutura que envolve diversos atores para oferecer funcionalidade, utilidade e satisfação (MONT, 2002). Para muitos autores, a adoção do pensamento sistêmico no PSS é fundamental para uma conceituação adequada e o entendimento profundo do sistema em vigor (AFSHAR; WANG, 2010; CAVALIERI; PEZZOTTA, 2012). Portanto, essa tese contribui para a pesquisa em PSS e Design Sistêmico porque aborda a necessidade de expandir o escopo do PSS, remodelando o foco em combinações de produtos e serviços em direção a um PSS mais completo, capaz de lidar com problemas sociais complexos.

Com o fim de atingir esse objetivo, a presente pesquisa investiga a teoria e a prática de sistemas para entender as implicações do pensamento sistêmico no design e oferece recomendações para a sua adoção em abordagens do design, como o PSS. Esta investigação baseia-se na hipótese de que a diferença entre as abordagens tradicionais do design e as abordagens do design sistêmico está em suas suposições em relação aos limites e escopo do design. Em outras palavras, o design sistêmico procura alcançar uma perspectiva holística, multinível e pluralista que abraça a complexidade do sistema em vigor. Com base na definição do problema, a pergunta central e perguntas secundárias da pesquisa são propostas da seguinte forma:

PERGUNTA CENTRAL DE PESQUISA:	
<p><b>PC.</b> Como o pensamento sistêmico pode contribuir para lidar com a complexidade do design sustentável de sistemas produto-serviço para mercados de baixa renda de energia?</p>	
ESTRATÉGIA DE PESQUISA	PERGUNTAS SECUNDÁRIAS
<p><b>FASE TEÓRICA</b> (Capítulo 2)</p>	<p><b>PS1.</b> O que caracteriza problemas sociais complexos no setor energético de mercados de baixa renda?</p> <p><b>PS2.</b> Como o pensamento sistêmico foi desenvolvido como uma maneira de lidar com problemas sociais complexos?</p> <p><b>PS3.</b> Até que ponto o pensamento sistêmico oferece a melhor abordagem para o design de soluções voltadas para problemas sociais complexos?</p>
<p><b>FASE EMPÍRICA</b></p> <p>Observações de Práticas Existentes (Capítulo 3)</p> <p>Intervenções na Educação em Design (Capítulos 4-5)</p>	<p><b>PS4.</b> O que a adoção do pensamento sistêmico como um perspectiva multinível pode oferecer para melhorar soluções energéticas em programas de eficiência energética para baixa renda?</p> <p><b>PS5.</b> Como o pensamento sistêmico pode ajudar estudantes de design no desenvolvimento de conceitos de sistema produto-serviço (PSS) mais sustentáveis para mercados de baixa renda?</p> <p><b>PS6.</b> Como desenvolver a capacidade nos estudantes de design de responder à complexidade dos problemas sociais, como aqueles encontrados em mercados de baixa renda?</p>

**Figura 01** - Estratégia de Pesquisa.  
 Fonte: Autores

Seguindo a estrutura de pesquisa descrita acima, essa tese é composta por quatro estudos principais (COSTA JUNIOR; DIEHL; SECOMANDI, 2018, 2019; COSTA JUNIOR; SANTOS; DIEHL, 2017; DA COSTA JUNIOR; DIEHL; SNELDERS, 2019) publicados ou submetidos como artigos de periódicos revisados por pares. Cada publicação aborda uma ou mais perguntas de pesquisa que ajudam a responder à pergunta central de pesquisa. Cabe ressaltar que os capítulos não refletem a publicação cronológica dos artigos. Consequentemente, a criação do conhecimento não é linear (por exemplo, um capítulo pode não se basear inteiramente no conhecimento gerado no estudo anterior). No entanto, os resultados de cada estudo se reúnem para fornecer contribuições para três áreas principais no campo de design: teoria (Capítulo 2), prática (Capítulo 3) e educação (Capítulo 4-5).

## 2. FASE TEÓRICA

A pesquisa preliminar desta investigação é relatada no Capítulo 1. O primeiro capítulo introduz a justificativa e a motivação para a presente investigação. Ele reconhece algumas das limitações do uso de abordagens do design mais tradicionais para entender problemas sociais complexos no setor elétrico de mercados de baixa renda. Além disso, argumenta que uma abordagem mais holística pode ser adotada para complementar a natureza reducionista dos métodos científicos tradicionais adotados no design. Além disso, ressalta que o potencial de desencadear mudanças radicais em termos tecnológicos e socioculturais reside em abordagens do design que consideram a capacidade do design de lidar com a complexidade. Em seguida, o capítulo concentra-se em soluções energéticas que integram produtos, serviços e infraestrutura para oferecer satisfação por meio de melhor funcionalidade e utilidade para o sistema.

Além disso, o Capítulo 1 indica que os sistemas produto-serviço (PSS) sustentáveis oferecem uma oportunidade para satisfazer a demanda de energia nos mercados de baixa renda com soluções compatíveis com o desenvolvimento sustentável. Isso demonstra por que o desenvolvimento de sistemas produto-serviço sustentáveis para o setor elétrico de mercados de baixa renda é imprescindível para economias emergentes e em desenvolvimento que visam conciliar desenvolvimento socioeconômico com proteção ambiental. A revisão preliminar da literatura fornece evidências de que o PSS é um conceito promissor para estimular a geração, distribuição e consumo sustentáveis de energia.

Os resultados apresentados no Capítulo 1 sugerem que, embora promissor, o PSS geralmente fracassa em mercados de baixa renda devido à particularidade da complexidade social existente nesses contextos. Nesse contexto, o capítulo demonstra como o pensamento sistêmico pode contribuir para o desenvolvimento de sistemas produto-serviço mais sustentáveis no setor elétrico de mercados de baixa renda. O capítulo conclui que, para desenvolver soluções energéticas mais sustentáveis em mercados de baixa renda, designers precisam aumentar a capacidade de lidar com problemas sociais complexos por meio da adoção de quatro princípios fundamentais do pensamento sistêmico: perspectiva holística; perspectiva multinível; perspectiva pluralista (diversidade de pontos de vista); e capacidade de lidar com altos níveis de complexidade.

A pesquisa preliminar apresentada no Capítulo 1 sugere que o pensamento sistêmico pode auxiliar a desenvolver melhores soluções sustentáveis para o setor elétrico de mercados de baixa renda. No Capítulo 2, a adoção do pensamento sistêmico no design é explorada para destacar algumas implicações do uso do design sistêmico para solucionar problemas sociais complexos. O Capítulo 2 visa fornecer uma fundamentação teórica do pensamento sistêmico para a investigação e foi desenvolvido com base no conhecimento construído em todos os capítulos da tese. O objetivo principal do capítulo é promover o entendimento das implicações das abordagens e metodologias de sistemas e explorar a adoção de princípios do pensamento sistêmico no campo do design.

O capítulo demonstra que os princípios do pensamento sistêmico fornecem um valioso corretivo ao reducionismo advindo do emprego do método científico tradicional para lidar com problemas sociais complexos. Uma extensa revisão da literatura descreve aspectos significativos do pensamento sistêmico. Adicionalmente, abordagens e metodologias de sistemas apropriadas para a aplicação no campo de design são identificadas e suas contribuições para o desenvolvimento de soluções para problemas sociais complexos são propostas e debatidas. Estudos anteriores tentaram explorar o campo do pensamento sistêmico para oferecer recomendações de como aplicar metodologias e ferramentas de sistemas no design. No entanto, pouca atenção foi dada à forma como designers interpretaram e empregaram essas metodologias e ferramentas sistêmicas para lidar com problemas sociais complexos.

O Capítulo 2 investiga o processo de integração do pensamento sistêmico no design e fornece uma visão geral do emergente campo de estudo da abordagem do design sistêmico para problemas sociais complexos. O capítulo resume o estado da arte atual, descrevendo como

abordagens do design sistêmico existentes vêm fornecendo contribuições significativas para a transição de uma abordagem tradicional do design para uma perspectiva orientada ao design de sistemas. Com base nesses insights teóricos, o capítulo enfatiza a oportunidade de desenvolver ainda mais as abordagens do design sistêmico existentes por meio da exploração sistemática e informada do pensamento sistêmico. O estudo resulta em uma estrutura conceitual que oferece critérios para a integração do pensamento sistêmico no design. Consequentemente, a principal contribuição do estudo é fornecer uma estrutura que permita o desenvolvimento de novas abordagens e o fortalecimento de abordagens do design sistêmico já existentes, auxiliando designers a utilizarem de forma plena os recursos do pensamento sistêmico.

### 3. FASE EMPÍRICA

O Capítulo 3 investiga a adoção do pensamento sistêmico como uma perspectiva multinível que auxilia a compreensão das restrições impostas pela complexidade dos desafios energéticos em programas de eficiência energética para baixa renda no Brasil. O Brasil foi selecionado para este estudo empírico porque apresenta muitos desafios energéticos relevantes para o desenvolvimento sustentável que requerem atenção urgente. Com base em teorias do design com fundamentação no pensamento sistêmico, são analisados três níveis de agregação do setor energético brasileiro para o segmento de baixa renda com o objetivo de obter insights para desenhar soluções energéticas sustentáveis. O capítulo é conduzido por meio de uma extensa revisão de literatura, estudos de caso descritivos e entrevistas com profissionais e especialistas.

Estudos anteriores mostraram que, embora fundamentais, melhorias à nível tecnológico são limitadas para criar transições para sistemas de energia sustentável. Por esse motivo, para enfrentar os desafios energéticos nos mercados de baixa renda, é necessário mudar o foco de atenção apenas de melhorias tecnológicas para uma perspectiva social mais ampla que leve em consideração transformações organizacionais e socioculturais, o que implica em altos níveis de complexidade social. Este estudo contribui para a evidência do conhecimento sobre a complexidade do setor elétrico de mercados de baixa renda e para o entendimento das implicações de uma análise multinível para o desenvolvimento de soluções energéticas mais sustentáveis. Além disso, demonstra que esse conhecimento é valioso para o redesign de programas de energia para baixa renda e para informar o desenvolvimento de novas políticas de energia e revisar políticas existentes.

Os resultados mostram que a adoção de uma perspectiva multinível em programas de eficiência energética para baixa renda permite que formuladores de políticas e solucionadores de problemas identifiquem restrições e oportunidades relevantes em todos os níveis do sistema. Mais especificamente, por meio de uma análise multinível do sistema em vigor, o capítulo revela os principais aspectos que impedem que as soluções desenvolvidas em programas de eficiência energia para baixa renda alcancem níveis mais altos de sustentabilidade. Além disso, produz insights para recomendações que possam melhorar a situação atual nesses contextos de baixa renda. O capítulo demonstra que compreender e superar os desafios técnicos e sociais presentes em soluções energéticas é crucial para aumentar a capacidade dos programas de eficiência energética de alcançar níveis mais altos de benefícios socioeconômicos e diminuir os impactos ambientais negativos em comunidades de baixa renda.

Os resultados sugerem que a abordagem do design sistêmico exige que os designers lidem com um grau de complexidade mais substancial em comparação com outras abordagens do design mais tradicionais. Consequentemente, eles devem estar preparados para lidar com um novo conjunto de conhecimentos, habilidades e ferramentas orientados a sistemas apropriados para lidar com essa nova realidade. Para enfrentar esse tema, que é um desafio significativo para o ensino do design, os dois últimos capítulos da tese são dedicados a trazer contribuições que apoiem o desenvolvimento da capacitação para a abordagem do design sistêmico.

Como designers são geralmente educados para aplicar abordagens tradicionais do design, as instituições de ensino superior se tornam um agente essencial para a difusão do design sistêmico. Portanto, as intervenções realizadas nos Capítulos 4 e 5 exploram a aplicação da abordagem do design sistêmico por alunos de pós-graduação para projetar conceitos de sistemas produto-serviço sustentáveis. As intervenções permitiram testar a hipótese de pesquisa e o modelo teórico apresentado no Capítulo 3. Além disso, proporcionaram uma exploração inicial da estrutura conceitual descrita no Capítulo 2.

A intervenção no Capítulo 4 forneceu um exercício exploratório, no qual uma abordagem do design sistêmico foi aplicada por alunos da Universidade de Tecnologia de Delft (Holanda) para desenvolver conceitos de sistema produto-serviço para identificar vantagens e desvantagens nesse processo. No Capítulo 5, estudantes de design familiarizados com o setor elétrico de mercados de baixa renda testam uma abordagem do design sistêmico para

responder aos desafios energéticos enfrentados pelas comunidades de baixa renda em Uganda. Esse estudo baseia-se no Capítulo 4 e busca entender melhor o processo de aprendizagem do design sistêmico e os meios para auxiliar essa aprendizagem no campo do design.

O Capítulo 4 relata uma disciplina de mestrado chamada Sistema Produto-Serviço que aplica o pensamento sistêmico no desenvolvimento de conceitos sistema produto-serviço sustentáveis para problemas sociais complexos. O capítulo explora as instituições de ensino superior como base para a transferência de conhecimento entre vários atores durante o processo de desenvolvimento de soluções focadas na necessidade de gerar energia acessível para famílias de baixa renda e implementar ajuda humanitária em situações de emergência. Neste estudo, equipes multidisciplinares de estudantes da Universidade de Tecnologia de Delft usam conhecimentos e habilidades com base em uma abordagem do design sistêmico chamada System Oriented Design para desenvolver doze conceitos de PSS. O estudo foi realizado em colaboração com a Universidade Federal do Paraná (e parceiros) no Brasil e a Unidade de Inovação da Organização não Governamental Médicos Sem Fronteiras, na Suécia. Por esse motivo, o escopo do estudo foi estendido para abordar o contexto da ajuda humanitária.

Os dados empíricos usados no Capítulo 4 emergem de um conjunto de conceitos de PSS desenvolvidos para mercados de baixa renda, conduzidos por equipes de estudantes em um curso multidisciplinar. Com base nas atividades de design realizadas pelos alunos e no resultado dos projetos, o capítulo apresenta e discute as vantagens e os desafios relacionados ao contexto e ao processo de aplicação do pensamento sistêmico em design. Os resultados demonstram que a abordagem do design sistêmico fornece aos alunos uma base sólida de conhecimentos e habilidades para lidar com problemas sociais complexos. No entanto, permanece a necessidade de introduzir recursos apropriados (por exemplo, metodologias, ferramentas e habilidades relacionadas ao design sistêmico) no currículo atual do design, o que torna a transição da abordagem tradicional do design para o design sistêmico um desafio. As descobertas indicam a necessidade de desenvolver novas competências orientadas ao pensamento sistêmico em estudantes de design.

O Capítulo 5 descreve uma disciplina de mestrado chamada Design de Sistemas para Energia Sustentável para Todos. O curso propôs desenvolver e testar os recursos de ensino baseados no pensamento sistêmico e promover a capacitação para a abordagem do design sistêmico.

Estudantes Ugandeses de design da Universidade Makerere, familiarizados com o contexto local, adotam o design sistêmico para confrontar os desafios energéticos enfrentados por comunidades de baixa renda em Uganda. O capítulo sugere competências essenciais para o desempenho hábil ao projetar conceitos de sistema produto-serviço voltados para o setor elétrico de mercados de baixa renda e demonstra o processo de aplicação de tais competências. O Capítulo 4 fornece informações básicas, o que ajuda a desenvolver os alicerces de um novo conjunto de conhecimentos, habilidades e ferramentas para lidar com problemas sociais complexos. O Capítulo 5 restringe o escopo do estudo e concentra-se na construção de capacidades para aplicar o pensamento sistêmico no desenvolvimento de conceitos de PSS para atingir soluções energéticas sustentáveis em contextos de baixa renda.

Além disso, no Capítulo 5 é fornecida para educadores uma lista de aspectos cognitivos relevantes para a capacitação para a abordagem do design sistêmico. Ademais, o capítulo demonstra o processo de integração do pensamento sistêmico no currículo do curso para auxiliar os alunos no desenvolvimento de soluções sustentáveis para o setor elétrico de mercados de baixa renda em Uganda. As descobertas apoiam o fato de que abordagens do design baseadas no pensamento sistêmico podem ajudar a lidar com a crescente complexidade dos problemas sociais enfrentados pela sociedade, e que se espera que a futura geração de profissionais de design seja capaz de resolver. Dessa forma, uma contribuição significativa do estudo para o campo de educação em design é propor competências-chaves necessárias para solucionar a lacuna em capacitação para lidar com complexidade no contexto do design.

#### 4. FASE EMPÍRICA

O Capítulo 6 fornece um resumo geral das principais descobertas emergentes da tese. São apresentadas contribuições para a teoria, educação e prática do design. Quatro contribuições principais são fornecidas por esta pesquisa de doutorado:

- Explorar a integração do pensamento sistêmico no design, em particular adotando a abordagem do design sistêmico para desenvolver soluções energéticas sustentáveis para mercados de baixa renda.
- Ampliar o escopo do design de sistemas produto-serviços através da introdução de quatro princípios do pensamento sistêmico: perspectiva holística; perspectiva multinível; perspectiva pluralista (diversidade de pontos de vista); e capacidade de lidar com complexidade.

- Propor ferramentas heurísticas para a integração do pensamento sistêmico no design, que permitam desenvolver novas abordagens e aprimorar abordagens de design sistêmico já existentes.

- Aumentar a capacitação para o design sistêmico de problemas sociais complexos por meio da educação em design.

O Capítulo 6 sugere que o projeto de soluções energéticas sustentáveis para mercados de baixa renda requer intervenções eficazes, capazes de lidar com altos níveis de complexidade dos problemas enfrentados pela sociedade. Para isso, é necessária a adoção de uma abordagem do design sistêmico, como complemento para a abordagem reducionista tradicional adotada em design. Isso significa abraçar a complexidade dos sistemas, contextos ou problemas da sociedade e empregar novas formas de pensamento, conhecimento e habilidades para lidar com essa complexidade.

#### REFERÊNCIAS

- AFSHAR, M.; WANG, D. Systems thinking for designing sustainable product service systems: A case study using a system dynamics approach. *Design Principles and Practices*, v. 4, n. 6, p. 259–273, 2010.
- CAVALIERI, S.; PEZZOTTA, G. Product–Service Systems Engineering: State of the art and research challenges. *Computers in Industry*, v. 63, n. 4, p. 278–288, maio 2012.
- COSTA JUNIOR, J.; DIEHL, J. C.; SECOMANDI, F. Educating for a systems design approach to complex societal problems. *Journal of Engineering Design*, v. 29, n. 3, p. 65–86, 4 mar. 2018.
- COSTA JUNIOR, J.; SANTOS, A. L. R. DOS; DIEHL, J. C. Introducing systems oriented design for complex societal contexts in design engineering education. *FormAkademisk - forskningstidsskrift for design og designdidaktikk*, v. 10, n. 1, p. 1–20, 14 mar. 2017.
- COSTA JUNIOR, J.; DIEHL, J. C.; SECOMANDI, F. Towards Systems-Oriented Energy Solutions: A Multilevel Analysis of a Low-Income Energy Efficiency Program in Brazil. *Sustainability*, v. 11, n. 5799, p. 1–22, 2019.
- COSTA JUNIOR, J.; DIEHL, J. C.; SNELDERS, D. A framework for a systems design approach to complex societal problems. *Design Science*, v. 5, n. e2, p. 1–32, 17 jan. 2019.
- MONT, O. Clarifying the concept of product–service system. *Journal of cleaner production*, From Duplicate 2 ( Clarifying the concept of product-service system - Mont, Oksana )From Duplicate 2 ( Clarifying the concept of product-service system - Mont, O K )cited By (since 1996) 194, v. 10, n. 3, p. 237–245, 2002.

